



**Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
SEDE MANABÍ  
CARRERA DE ARQUITECTURA

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

“EVALUACIÓN TEÓRICA DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE ESPACIOS DE  
LECTURA UNIVERSITARIOS.”

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

DISEÑO, INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS SOCIALES Y AMBIENTALES PARA UN  
HÁBITAD SOSTENIBLE.

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

PLANIFICACIÓN URBANO – ARQUITECTÓNICA PARA TERRITORIOS EN  
DESARROLLO.

**PREVIO AL TÍTULO DE  
ARQUITECTA.**

**AUTORA**

EMILY NICOLE MENDOZA MENÉNDEZ.

**TUTOR**

ARQ. JORGE LEONARDO CEVALLOS CARRILLO, MGTR EN URBANISMO

PORTOVIEJO, ABRIL 2025

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

En la ciudad de Portoviejo a los 02 días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

---

ARQ. JORGE LEONARDO CEVALLOS CARRILLO.

C.C. 1309490850

Tutor

## **ACTA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

En la ciudad de Portoviejo a los 02 días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

---

DIEGO XAVIER HIDALGO BURNEO  
C.C. 1103696504  
Lector Revisor

---

AIMEÉ DEL ROCÍO DELGADO CRUZ  
C.C. 1105632358  
Lectora Revisora

---

ARQ. JORGE LEONARDO CEVALLOS CARRILLO.  
C.C. 1309490850  
Tutor

## **DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo.

Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

En la ciudad de Portoviejo a los 02 días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

---

EMILY NICOLE MENDOZA MENÉNDEZ

C.C. 1314693936

Autora

## **DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

En la ciudad de Portoviejo a los 02 días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

---

EMILY NICOLE MENDOZA MENÉNDEZ

C.C. 1314693936

Autora

## **DEDICATORIA**

A mi madre, en agradecimiento por haber sido mi principal apoyo inquebrantable a lo largo de todos estos años de carrera. Toda su ayuda constante, sus palabras de aliento, y amor han sido la motivación que me ha permitido continuar progresando. Este logro lo compartimos, ya que sin su contribución no podría haberlo logrado. Gracias por estar siempre a mi lado.

---

EMILY NICOLE MENDOZA MENÉNDEZ

C.C. 1314693936

Autora

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre, por apoyarme en las largas noches; A mis amigos / compañeros del grupo de acústica, por el apoyo mutuo durante este proceso; Y a mi tutor, por corregirnos y ayudarnos con paciencia y dedicación.

---

EMILY NICOLE MENDOZA MENÉNDEZ

C.C. 1314693936

Autora

## Resumen

El presente proyecto de investigación estudia el tiempo de reverberación (TR) en los espacios de lectura de una biblioteca universitaria privada en Portoviejo, Ecuador. El estudio resalta la importancia de tener un buen ambiente sonoro para el aprendizaje individual y colectivo en las bibliotecas. Se investiga cómo la elección de materiales, en función de sus propiedades de absorción, afecta el TR, partiendo de la hipótesis de que el tiempo de reverberación aumenta a medida que las superficies presentan características menos absorbentes. Se empleó una metodología descriptiva, comparativa y de carácter simulativo, en la que se analizó la capacidad de absorción de los recubrimientos mediante el cálculo del TR utilizando la fórmula de Sabine. Este enfoque permitió comparar los resultados obtenidos con normativas internacionales, como la ISO 3382-2 y la NBE-CA-88, para verificar su cumplimiento como indicadores principales. Los resultados revelan que los espacios analizados cumplen con los requisitos de las normativas, calificando la acústica de las salas como poco reverberante, gracias al uso predominante de la madera. Posteriormente, se compararon los materiales empleados actualmente en el diseño de las salas con materiales comúnmente utilizados en espacios de lectura y se confirmó que los materiales absorbentes influyen directamente en la reducción del TR, concluyendo que, a mayor área cubierta por material absorbente, mayor es el coeficiente de absorción individual, lo que resulta en menor tiempo de reverberación. Se reitera que una buena selección de materiales puede optimizar el diseño acústico de los espacios de lectura.

*Palabras clave:* Diseño acústico, biblioteca, tiempo de reverberación, coeficiente de absorción, espacios de lectura

## **Abstract**

This research project studies the reverberation time (RT) in the reading spaces of a private university library in Portoviejo, Ecuador. The study highlights the importance of having a good sound environment for individual and collective learning in libraries. It investigates how the choice of materials, based on their absorption properties, affects the RT, starting from the hypothesis that reverberation time increases as surfaces present fewer absorbent characteristics. A descriptive, comparative, and simulative methodology was used, in which the absorption capacity of the coatings was analyzed by calculating the RT using Sabine's formula. This approach allowed comparing the results obtained with international standards, such as ISO 3382-2 and NBECA-88, to verify their compliance as main indicators. The results reveal that the analyzed spaces meet the requirements of the standards, qualifying the acoustics of the rooms as low-reverberant, thanks to the predominant use of wood. Subsequently, the materials currently used in the design of the rooms were compared with materials commonly used in reading spaces and it was confirmed that absorbent materials directly influence the reduction of the RT, concluding that, the larger the area covered by absorbent material, the greater the individual absorption coefficient, resulting in less reverberation time. It is reiterated that a good selection of materials can optimize the acoustic design of reading spaces.

*Keywords:* Acoustic design, library, reverberation time, absorption coefficient, reading spaces

## Tabla de Contenidos

Introducción .....	1
Planteamiento del problema.....	1
Problema General.....	1
Hipótesis Central.....	2
Justificación .....	2
Estado de la Cuestión.....	2
Formulación .....	5
Problema específico .....	5
Marco Teórico.....	5
Objetivos .....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos específicos .....	11
Hipótesis Específica.....	11
Método .....	11
Diseño del objeto .....	11
Tipo de investigación.....	11
Modelo de análisis .....	12
Unidad de análisis .....	12
Variables .....	12

Fuente de datos .....	13
Instrumentos y Recursos. ....	13
Diseño de los procedimientos .....	14
Campo de análisis .....	14
Unidades de observación .....	14
Técnica de análisis .....	18
Indicadores .....	19
Resultados .....	19
Recolección y Procesamiento .....	19
Tratamiento y Análisis.....	22
Discusión.....	27
Discusión de resultados.....	27
Conclusiones .....	32
Recomendaciones .....	34
Referencias Bibliográficas .....	36
Anexos .....	40
Anexo 1. Cálculo del Tiempo de Reverberación inicial .....	40
Anexo 2. Cálculos de TR con cambio de materiales: Ejercicio 1.....	43
Anexo 3. Cálculos de TR con cambio de materiales: Ejercicio 2.....	45

## Índice de Tablas

Tabla 1. Coeficientes de absorción de superficies a usar.....	9
Tabla 2. Clasificación de Salas de lectura según volumetría y materialidad.....	20
Tabla 3. Resultados del cálculo de los tiempos de reverberación por salas .....	20
Tabla 4. Comparación de resultados de reverberación con las normativas .....	21
Tabla 5. Materiales de piso y techo en la PUCE – Sede Manabí (Portoviejo) .....	22
Tabla 6. Materiales escogidos para el primer ejercicio de comparación .....	23
Tabla 7. TR con modificación de materiales: Piso de cerámica y tumbado de yeso.....	23
Tabla 8. Material escogido para el segundo ejercicio de comparación. ....	26
Tabla 9. TR con modificación de materiales: Piso con alfombras. ....	27
Tabla 10. Cálculo de superficie total de la sala de lectura tipo 1.....	40
Tabla 11. Cálculo de TR inicial de la sala de lectura tipo 1. ....	41
Tabla 12. Cálculo de superficie total de la sala de lectura tipo 2.....	41
Tabla 13. Cálculo de TR inicial de la sala de lectura tipo 2. ....	42
Tabla 14. Cálculo de superficie total de la sala de lectura tipo 3.....	42
Tabla 15. Cálculo de TR inicial de la sala de lectura tipo 3. ....	43
Tabla 16. Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 1) - sala tipo 1 .....	43
Tabla 17. Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 1) - sala tipo 2 .....	44
Tabla 18. Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 1) - sala tipo 3 .....	44
Tabla 19. Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 2) - sala tipo 1 .....	45
Tabla 20. Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 2) - sala tipo 2 .....	45
Tabla 21. Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 2) - sala tipo 3 .....	46

## Índice de Figuras

Figura 1. Herramientas usadas para toma de datos.....	13
Figura 2. Campo de análisis: PUCEM – campus Portoviejo .....	14
Figura 3. Unidades de Observación: Vista en Planta.....	16
Figura 4. Unidad de observación Tipo 1: Vista externa e interna .....	17
Figura 5. Unidad de observación Tipo 2: Vista externa e interna .....	17
Figura 6. Unidad de observación Tipo 3: Vista interna .....	18
Figura 7. Comparación gráfica de los resultados con las normativas.....	21
Figura 8. Comparación gráfica de resultados con Cerámica y Yeso vs cálculo inicial. ...	24
Figura 9. Sala Tipo 1 Actual vs. Ejercicio 1 de cambio de materiales. ....	24
Figura 10. Sala Tipo 2 Actual vs. Ejercicio 1 de cambio de materiales. ....	25
Figura 11. Sala Tipo 3 Actual vs. Ejercicio 1 de cambio de materiales. ....	25
Figura 12. Comparación gráfica de resultados con Alfombra vs cálculo inicial .....	27

## Introducción

### Planteamiento del problema

#### *Problema General*

En una biblioteca universitaria se llevan a cabo diversos tipos de actividades, tanto personales como académicas, por lo que el usuario requiere de condiciones interiores optimas que le permitan desempeñar dichas actividades de manera eficiente. En este sentido, la calidad ambiental interior desempeña un papel fundamental debido a su influencia directa en la capacidad del aprendizaje, concentración y asimilación de la lectura por parte de los usuarios (Akanmu et al., 2021). El nivel de esta calidad depende de varios aspectos de diseño constructivo, tales como confort térmico, calidad del aire, iluminación y acústica. Sin embargo, esta investigación se centrará exclusivamente en el último aspecto.

En la actualidad, los espacios de lectura en bibliotecas universitarias enfrentan problemas relacionados con la calidad acústica debido a los altos niveles de ruido y los prolongados tiempos de reverberación. Estas condiciones afectan negativamente el confort acústico, el cual se evalúa a partir de diversos factores, como los niveles del ruido ambiental o de fondo, índice de transmisión del habla, tiempo de reverberación, entre otros. No obstante, el presente estudio enfocará únicamente el tiempo de reverberación.

En el ámbito de la construcción, la importancia del aislamiento acústico suele ser subestimado, priorizándose criterios estéticos y factores económicos al momento de seleccionar los materiales que conforman los espacios internos, descuidando así el efecto acústico en los usuarios. A lo largo del tiempo se ha evidenciado que una acústica deficiente puede tener efectos adversos en la salud y el bienestar de las personas, provocando estrés y disminuyendo la productividad (Nafez et al., 2017).

En este contexto, la arquitectura ofrece herramientas para transformar los espacios en entornos acústicamente saludables. Mediante la selección adecuada de materiales que absorban el sonido, como paneles acústicos en paredes o recubrimientos textiles en los suelos, es factible reducir la reverberación y mejorar la inteligibilidad del habla, promoviendo así el bienestar y la funcionalidad en los espacios de lectura universitarios.

### ***Hipótesis Central***

El tiempo de reverberación y la calidad del entorno sonoro en un espacio están determinados por el volumen del recinto y las características acústicas de sus superficies. En particular, la incorporación de materiales absorbentes modifica el tiempo de reverberación, impactando la percepción sonora del ambiente.

### ***Justificación***

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de demostrar la influencia de los materiales en el confort acústico, y en el tiempo de reverberación. Se busca fomentar la conciencia entre los diseñadores sobre la importancia de seleccionar adecuadamente los materiales, considerando criterios como sus propiedades de absorción y reflexión del sonido. De este modo, se pretende garantizar que los espacios destinados a lectura ofrezcan condiciones acústicas óptimas para los usuarios.

### ***Estado de la Cuestión***

A lo largo de los años se han realizado diversos estudios que destacan la importancia de los materiales en el diseño arquitectónico, particularmente en el ámbito de la construcción. En el caso del aislamiento acústico para espacios internos, se han comparado distintos materiales, diferenciando entre aquellos que absorben el sonido y los que lo reflejan, subrayando la importancia de ubicarlos apropiadamente según sus características y las funciones del espacio.

Algunas investigaciones han señalado que el ruido ambiental interior suele gestionarse mediante soluciones convencionales que emplean un único material específico. Xiao y Aletta (2016) indican que los diseños acústicos contemporáneos buscan adaptar los espacios a las distintas actividades humanas mediante la incorporación de materiales que absorben, difunden o resuenan el sonido, influyendo directamente en la calidad acústica. Las propiedades físicas de los materiales afectan el comportamiento del sonido dentro de un recinto. Por ejemplo, Akanmu et al. (2021) evidenciaron que la dureza de los materiales utilizados en las paredes puede incrementar los niveles de ruido en las bibliotecas. Sin embargo, otros elementos, como el cuerpo humano, contribuyen a la reducción de la reflexión sonora. Por otra parte, el estudio de Reinten et al. (2017) enfatiza que la disminución de la reverberación mediante el uso de materiales absorbentes mejora la inteligibilidad del habla, especialmente en el campo de sonido directo, es decir en distancias cortas entre la fuente sonora y el receptor.

Existen otros estudios que centran sus análisis en materiales específicos con el objetivo de optimizar la reducción de la reverberación. Dokmeci y Kang (2016) señalan la importancia de considerar tanto las propiedades arquitectónicas como las propiedades físicas de los materiales en el diseño de espacios acústicamente involucrados, indicando que los revestimientos de madera y los suelos alfombrados son ideales para la absorción de frecuencias medias y altas. Complementariamente, Asdrubali et al. (2015) generaron una investigación sobre materiales poco convencionales, como el uso de algodón, denim, entre otras, cuyos componentes porosos han demostrado ser efectivos en la reducción de la reverberación y en el aislamiento acústico. Estos estudios resaltan la importancia de seleccionar materiales con propiedades adecuadas para mejorar el confort acústico en entornos interiores.

La influencia del sonido va más allá de la comodidad física, impacta también el bienestar y el rendimiento de las personas. Varios estudios han analizado el incumplimiento de los niveles de ruido aceptables según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Por ejemplo, Nafez et al. (2017) encontraron que alrededor del 41 % de los espacios de lectura en bibliotecas de la Universidad de Ciencias Médicas de Kermanshah, en Irán, excedían los 45 dB recomendados. De manera similar, Pierard y Baca (2019) registraron niveles de hasta 58,11 dB durante horario vespertino y 50,91 dB por la noche en la Biblioteca Zimmerman de Nuevo México. Estas cifras evidencian una problemática que afecta tanto a los usuarios como a los responsables de la gestión de las bibliotecas.

Según Reinten et al. (2017), el ruido constante provoca distracción, estrés y fatiga, mientras que su mitigación favorece la productividad y un estado de ánimo positivo. Este vínculo se evidenció en la investigación de Castro et al. (2016) donde se observó que la reducción del ruido en aulas universitarias, mediante el uso de paneles acústicos, incrementó la concentración y el rendimiento académico de los estudiantes. Este fenómeno también afecta las salas de lectura universitarias, como lo demuestran en investigaciones realizadas en bibliotecas, como la de Brothánek et al. (2020), donde se evidencia que altos tiempos de reverberación y elevados niveles de ruidos de fondo disminuyen el confort acústico de los usuarios y obstaculizan el desempeño intelectual.

En conjunto, estas investigaciones subrayan la necesidad de realizar un análisis más exhaustivo sobre el impacto de los materiales en la reverberación dentro de las salas de lectura. Esto permitirá abordar el confort acústico desde una perspectiva técnica, optimizando además el bienestar y la productividad de los usuarios.

## **Formulación**

### ***Problema específico***

A partir de la revisión de la literatura se evidencia la necesidad de estudiar cómo la materialidad puede emplearse como un instrumento para minimizar el impacto de la reverberación en recintos internos. En este contexto, el presente estudio busca abordar un posible problema en las salas de lectura de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) – sede Manabí, campus Portoviejo, donde podrían presentar deficiencias acústicas, asociadas a los materiales empleados en su diseño. Esta posible falta de adecuación puede generar un problema de reverberación en el ambiente, afectando negativamente en la claridad del habla de las personas.

A pesar de la existencia de normativas acústicas internacionales que establecen límites adecuados del tiempo de reverberación (TR) en este tipo de espacios, no se ha realizado una evaluación que determine si estas salas cumplen con dichos estándares, lo que permitiría conocer su desempeño acústico.

Con base en lo anterior, surge la pregunta de investigación: ¿Cómo influye la aplicación de materiales absorbentes en la optimización del tiempo de reverberación en los espacios de lectura de la PUCE – Sede Manabí en comparación con los estándares acústicos recomendados?

Adicionalmente, se busca responder otras cuestiones como: ¿Cuál de los materiales empleados tiene un mayor impacto en el entorno acústico? ¿Dicho impacto es positivo o negativo?

### ***Marco Teórico***

En el ámbito de la acústica relacionada con la arquitectura, conocida como acústica arquitectónica, se analiza la propagación del sonido en un espacio de manera adecuada, precisa y funcional (Miyara, 2004). Uno de los problemas más relevantes que se evalúan en este contexto, además del eco, es la reverberación.

El sonido genera ondas que, al interactuar con un objeto, se dividen en ondas absorbidas, transmitidas y reflejadas, dependiente de las propiedades del material. En espacios cerrados, las ondas progresivas y regresivas resultantes de las reflexiones en cada superficie (paredes, techo y suelo) se superponen al sonido inicial. Cuando estas reflexiones ocurren de forma simultánea y en múltiples direcciones, el campo sonoro resultante se denomina reverberante o difuso (Boschi, 2008).

Para evaluar este fenómeno, se estableció un parámetro denominado tiempo de reverberación (TR60), que mide la calidad acústica de una sala expresándola en segundos. Este indica el tiempo necesario para que el nivel de una señal acústica, tras cesar su emisión, disminuya en 60 dB respecto al nivel inicial (Boschi, 2008).

El tiempo de reverberación va en función del volumen de la habitación y del coeficiente de absorción de sus superficies. Para predecirlo se han desarrollado diversos modelos matemáticos, de los cuales solo se considera dentro de esta investigación el de Sabine como base para el análisis del tiempo de reverberación:

$$TR = 0,161 [V/A]$$

En donde:

$TR$  Tiempo de reverberación (s)

$V$  Volumen de la sala ( $m^3$ )

$A$  Absorción total ( $m^2$ )

Siendo el valor de  $A$ :

$$A = a \times S$$

$\alpha$  Coeficiente de absorción sonora de cada material

$S$  Superficie total de la sala.

De acuerdo con Isbert (1998), el grado de absorción acústica de un material se define como la relación entre la energía absorbida por dicho material y la energía incidente sobre él. Esta relación se expresa en valores que oscilan entre 0 (material totalmente reflectante) y 1 (material totalmente absorbente), y su resultado varía en función de la frecuencia del sonido.

En cuanto a la absorción total ( $A$ ), Isbert (1998) explica que esta se calcula multiplicando el coeficiente de absorción ( $a$ ) por la superficie correspondiente ( $S$ ). Dado que un recinto está compuesto por diversas superficies recubiertas con distintos materiales, la absorción total ( $A$ ) se define como la suma de las absorciones individuales de cada superficie:

$$A = a_1S_1 + a_2S_2 + \dots + a_nS_n$$

A partir de la obtención de la absorción total, es posible calcular el coeficiente medio de absorción ( $\bar{\alpha}$ ) mediante la división de  $A$  entre la superficie total del recinto ( $S_t$ ):

$$\bar{\alpha} = A / S_t$$

En donde:

$$S_t = S_1 + S_2 + \dots + S_n = (\text{paredes} + \text{techo} + \text{suelo})$$

Definiendo así la fórmula final como:

$$TR = 0,161(V / \bar{\alpha} \times S_t)$$

Se debe señalar que se está usando la fórmula para un espacio sin mobiliarios ni personas, ya que esta investigación se enfoca en el análisis arquitectónico espacial y su materialidad.

En cuanto a las restricciones de la fórmula, diversos autores destacan que su aplicación es válida únicamente bajo ciertas condiciones en las salas de estudio, tales como:

“Decaimiento energético exponencial asociado a un campo sonoro perfectamente difuso (la energía se propaga con la misma probabilidad en todas las direcciones), Geometría regular de la sala, Coeficiente medio de absorción  $\bar{\alpha}$  inferior a, aproximadamente, 0.4” (Isbert, 1998).

Arau (2010) menciona que, aunque la teoría de Sabine se desarrolló bajo estas premisas, en la práctica ha sido utilizada en recintos con distribución asimétrica de los materiales absorbentes y para cualquier valor de  $\alpha$ .

Otra limitación de la fórmula es que no se considera el factor de absorción del aire, ya que su efecto es significativo únicamente en longitudes de ondas cortas, principalmente en salas de gran volumen, superiores a 5000 m<sup>3</sup> (Boschi, 2008).

Isbert (1998) también señala que la ecuación no toma en cuenta la ubicación del receptor, la cual varía según el recinto, lo que surge de la aplicación exclusiva de la acústica estadística.

Existen distintos debates en torno a las limitaciones de la teoría de Sabine. Por ejemplo, Basso (2017) cuestiona la necesidad de mantener una distribución homogénea del material absorbente para lograr una difusión uniforme del sonido, argumentando que las salas reales no son homogéneas, ya que el público ocupa sólo el plano inferior, y por lo tanto, la difusión del sonido no es perfecta.

No obstante, se ha decidido utilizar la fórmula de Sabine en lugar de las versiones corregidas propuestas por autores posteriores, como la teoría de Eyring y Norris. Esto se debe a que la teoría de Sabine es ampliamente reconocida a nivel global, considerada la fórmula clásica y aceptada internacionalmente por su facilidad de cálculo (Isbert, 1998).

Pasando a la definición de conceptos, con respecto a las variables de la fórmula debemos entender los siguientes:

El volumen es la “magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones, (...) y cuya unidad en el sistema internacional es el metro cúbico (m<sup>3</sup>)” (RAE, 2023).

En cuanto a la absorción total de los materiales, es la energía que se disipa al entrar en contacto con un material, influyendo así en la propagación del sonido. Cada vez que una onda

sonora impacta en una superficie, parte de la onda se refleja y la otra es absorbida. Por ende, la absorción total dentro de la fórmula es la suma de los productos entre los coeficientes de absorción y las áreas correspondientes (m<sup>2</sup>) de cada material que recubren el recinto (Marín, 2016).

El coeficiente de absorción representa la relación entre la cantidad de energía absorbida y la energía incidente (Montejano, 2006). A continuación, se muestran los coeficientes de absorción de los principales materiales identificados en las unidades de observación así como aquellos que serán implementados en etapas posteriores. Si bien estos datos corresponden al 2012, su uso se justifica debido a la amplia cantidad de datos que proporcionan en comparación con otras fuentes, además de la falta de actualizaciones recientes por parte de otros autores en este ámbito.

**Tabla 1.**

*Coefficientes de absorción de superficies a usar.*

MATERIAL	DESCRIPCIÓN	mm	FRECUENCIAS						
			125	250	500	1000	2000	4000	NRC
VIDRIO	Ventana de vidrio	6	0.10	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04
-	Ventana Abierta		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
LADRILLO	Ladrillo visto		0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.04
LAMBRIZ	Paneles de madera (16 + 40mm de aire)	56	0.20	0.12	0.10	0.10	0.08	0.07	0.10
TABLAS	Plataforma de madera sobre gran espacio de aire		0.40	0.30	0.20	0.17	0.15	0.10	0.26
METAL	Cubierta de metal pura		0.13	0.09	0.09	0.09	0.11	0.11	0.10
PARQUET	Parquet de madera sobre contrapiso		0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04
MOQUETA	Alfombra	13	0.12	0.10	0.20	0.30	0.64	0.93	0.31
HORMIGÓN	Piso de hormigón		0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
YESO	Placa de yeso 25mm con espacio de aire		0.10	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04	0.06

*Nota.* Adaptado de Deambrosi (2012)

Según Montejano (2006), existen dos enfoques principales para mitigar el ruido en un espacio. El primero consiste en la *absorción del sonido*, utilizando materiales que reducen la energía de las reflexiones tornándolas menos perjudiciales. El segundo enfoque es por medio de la *difusión del sonido*, que consiste en dispersar las ondas sonoras en diversas direcciones para prevenir la focalización del sonido y generar un campo acústico homogéneo en ambos casos.

Existen varios materiales apropiados para la absorción acústica, ya que las ondas sonoras presentan diversas longitudes de onda audibles. No obstante, se dispone de materiales porosos que son ideales para atenuar frecuencias altas y medias, pero su efectividad depende de factores como el grosor del material y la longitud de onda sonora (Narváez et al., 2022).

Por ejemplo, Mena (2015) menciona que el ladrillo, tanto artesanal como industrial, presenta bajos coeficientes de absorción en general. Sin embargo, el ladrillo artesanal, debido a su estructura más porosa, tiene una mayor capacidad de absorción, especialmente en frecuencias altas, a partir de los 500 Hz. La autora también señala que el coeficiente de reducción acústica varía según la densidad y la masa superficial de los materiales: a mayor densidad y masa, mayor aislamiento acústico.

Otro material ampliamente estudiado es la madera que, dependiendo de su densidad y porosidad, puede ser un excelente absorbente acústico. Smardzewski et al. (2014) señalan que las propiedades de las diversas especies de madera pueden variar significativamente y tienen un impacto considerable en la velocidad de propagación de las ondas sonoras. En general, la madera de baja densidad y alta porosidad presenta la mayor capacidad de absorción acústica. Sin embargo, existen algunas excepciones, como el roble, el fresno, el sapeli y el pino, que a pesar de tener los coeficientes de absorción acústica más altos, en frecuencias de 2000 Hz, y son maderas de alta densidad pero buenos absorbentes acústicos.

## ***Objetivos***

### **Objetivo General**

Examinar cómo el tipo de material, según sus coeficientes de absorción, influye en la acústica de los espacios de lectura de la PUCE – sede Manabí, campus Portoviejo, aplicando la fórmula de Sabine para determinar si los TR obtenidos cumplen con los estándares acústicos recomendados.

## **Objetivos específicos**

1. Identificar las tipologías arquitectónicas de los espacios de lectura de la PUCE – sede Manabí, considerando su volumen y los materiales presentes en sus superficies.
2. Analizar los tiempos de reverberación actuales en estos espacios, comparándolos con normativas acústicas internacionales para determinar si cumplen con los estándares recomendados.
3. Evaluar la influencia que ejercen los materiales en la acústica del espacio a través de una comparación teórica con diferentes tipos de materiales presentes en el entorno (materiales utilizados en los edificios del campus Portoviejo), abarcando tanto aquellos con propiedades altamente absorbentes como aquellos que son reverberantes.

## ***Hipótesis Específica***

Los tiempos de reverberación en las salas de lectura de la PUCE - sede Manabí, campus Portoviejo, aumentan a medida que las superficies presentan características menos absorbentes o más reverberantes, pudiendo afectar el cumplimiento de los estándares acústicos recomendados.

## **Método**

### **Diseño del objeto**

### ***Tipo de investigación***

El presente estudio es de carácter descriptivo, comparativo y simulativo. Descriptivo, al examinar las características arquitectónicas, de los espacios de lectura en la biblioteca de la PUCE – sede Manabí, identificando los materiales que conforman sus superficies y evaluando su impacto en la acústica del recinto. Comparativo, al evaluar la reverberación de las diferentes salas en función de los tipos de materiales y coeficientes de absorción, contrastando los resultados obtenidos con los

estándares acústicos recomendados. Finalmente, se presenta como una investigación simulativa, al utilizar la fórmula de Sabine para estimar teóricamente el tiempo de reverberación y verificar si los valores calculados cumplen con los parámetros establecidos para garantizar un confort acústico adecuado.

### ***Modelo de análisis***

El modelo de análisis fue la función matemática denominada fórmula de Sabine, aplicando el cálculo empírico del TR como base para la comparación de las unidades de observación, ya que proporciona una estimación del estado óptimo de reverberación, adecuado para el espacio específico al que se calcula (Narváez et al., 2022).

Recordando que el modelo se expresa de la siguiente manera:

$$TR = 0,161 [V/A]$$

### ***Unidad de análisis***

La sala de lectura de una biblioteca en una institución de educación superior privada será la unidad de análisis. Tras revisar diversos autores, puede definirse como áreas diseñadas específicamente para fomentar la lectura y el estudio, tanto de manera individual como grupal. Son espacios que permiten la consulta de documentos *in situ*, debido a su cercanía a fuentes de información físicas, y se caracterizan por ser silenciosas, además de estar equipadas con mesas y sillas para su adecuado funcionamiento.

### ***Variables***

- *Variable independiente:* Los materiales empleados en las superficies en la que incide el sonido con sus respectivos coeficientes de absorción como subvariable.
- *Variable dependiente:* El tiempo de reverberación en el espacio analizado.

### ***Fuente de datos***

Para el cálculo del TR60 se utilizaron las siguientes:

- Tanto para el *volumen del espacio* y el cálculo de la *superficie*, se determinó por medio de la medición manual en sitio de los espacios analizados.
- La *capacidad de absorción* de cada material se obtuvo por documentación técnica, a partir de tablas de valores de coeficientes de absorción. Se emplearon los datos obtenidos de la tabla de Deambrosi (2012) reflejados en la Tabla 1.

### ***Instrumentos y Recursos.***

- Se utilizó herramientas como el flexómetro, para dimensiones de bajo alcance como los grosores de columnas, y el medidor laser, para las dimensiones largas como el volumen del recinto, siendo el flexómetro de marca *Truper* con alcance de 5m, y el medidor láser utilizado es el modelo *Professional GLM 40* de la marca Bosch con un rango de alcance de 0,15 a 40 m (Figura 1).
- Para el tratamiento de información, el cálculo de TR, se implementará programas informáticos como es el programa Microsoft Excel.

### **Figura 1.**

*Herramientas usadas para toma de datos.*



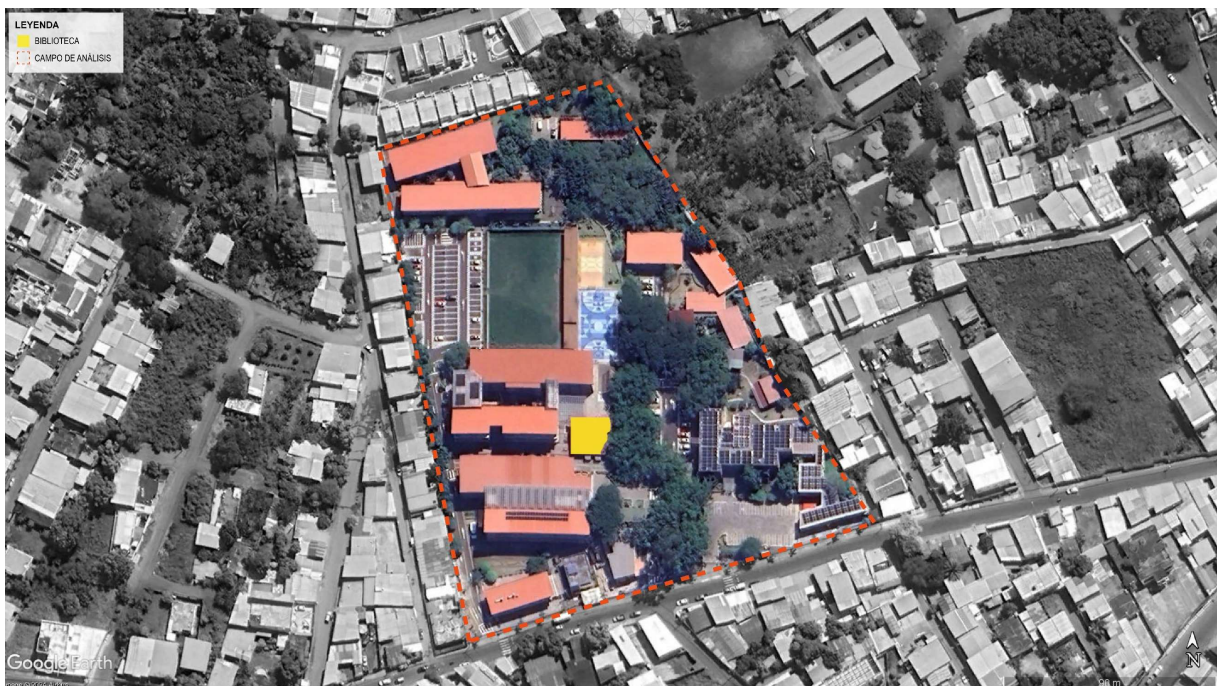
## Diseño de los procedimientos

### *Campo de análisis*

La investigación se realizó en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – sede Manabí (PUCEM), campus Portoviejo, ubicado en la capital de Manabí, una ciudad situada en un valle. El campus se encuentra en la zona urbana, dentro de la parroquia 18 de octubre, sobre la calle Eduardo Lloor. Ocupa un terreno de aproximadamente de 2.87 ha y sus facultades y actividades administrativas están divididas en 8 bloques (Figura 2).

### **Figura 2.**

*Campo de análisis: PUCEM – campus Portoviejo.*



*Nota.* Adaptado de Google Earth Pro, 2024.

### *Unidades de observación*

Los espacios de lectura analizados corresponden a la biblioteca de la PUCE – sede Manabí del campus Portoviejo. Estos se clasificaron según el tamaño del espacio, la materialidad y la cantidad de usuarios que puede albergar.

Para identificar las tipologías, se realizaron mediciones *in situ* y se modificó el plano inicial proporcionado como base de datos, ya que se detectaron discrepancias entre el diseño original y las condiciones actuales. Como resultado, se identificaron tres tipologías de salas de lectura: la sala general de lectura, las privadas individuales y la grupal.

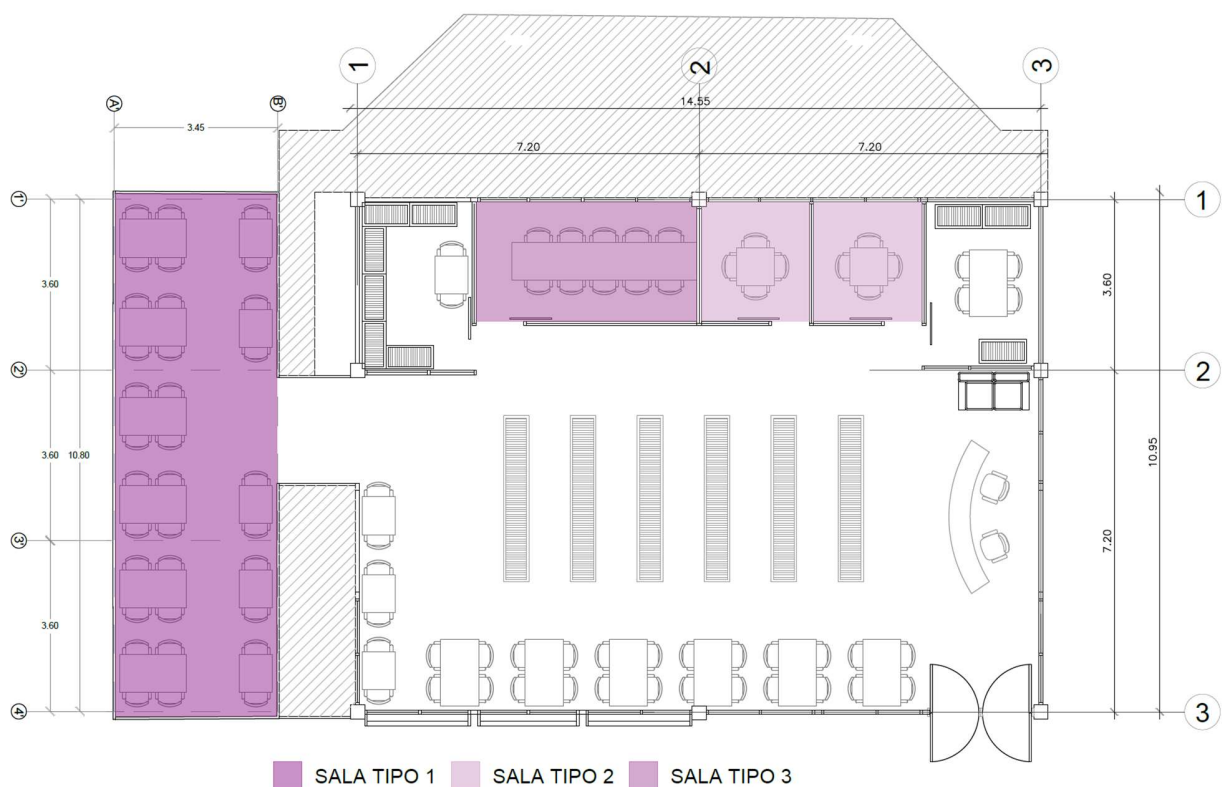
La biblioteca está dividida en dos bloques separados por un pasillo. El bloque principal es el más grande que incluye el área de libros, guía de información, salas privadas, área de investigación y archivos. Por otro lado, la sala neta de lectura (sala tipo 1) se encuentra separada del bloque principal (Figura 3). Este bloque rectangular tiene una superficie de 37.26 m<sup>2</sup> y un volumen de 99.6 m<sup>3</sup>. Está compuesta mayoritariamente de cristal, con sus paredes conformadas por ventanales de vidrio y aluminio, sostenidas por una estructura metálica, mientras que el piso y el techo están recubiertos de madera (Figura 4). Cabe destacar que el área de conexión al pasillo se considera como una «ventana abierta» en los cálculos del coeficiente de absorción, ya que la fórmula de Sabine se aplica únicamente a recintos totalmente cerrados. Esta condición puede influir en los resultados.

La sala tipo 2 corresponde a las salas privadas diseñadas para un máximo de cuatro personas, aunque su tamaño las hace comúnmente utilizadas por dos usuarios. Este tipo incluye en total dos unidades (Figura 3), con una superficie de 5.45 m<sup>2</sup> y con un volumen de 15.36 m<sup>3</sup> cada una. Estas salas cuentan con un techo inclinado con una pendiente del 45 %, por lo que para los cálculos necesarios se consideró una altura promedio. En cuanto a su materialidad, es similar a la tipología 1 (Figura 5); presentan paredes de vidrio y aluminio, estructura metálica y recubrimientos de madera en piso y techo. Sin embargo, presentan una diferencia notable en la pared que da hacia la fachada sur, la cual incluye un antepecho de ladrillo visto.

La sala tipo 3 corresponde también a una sala privada, pero con una capacidad para nueve personas. Esta se utiliza tanto para estudio grupal como para reuniones (Figura 3). Cuenta con una superficie de 11.30 m<sup>2</sup> y un volumen de 31.88 m<sup>3</sup>. Su materialidad es idéntica que la tipología anterior (Figura 6), incluyendo la inclinación del techo.

### Figura 3.

*Unidades de Observación: Vista en Planta.*



*Nota.* Adaptado de Calle (2019), Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí - Campus Portoviejo.

**Figura 4.**

*Unidad de observación Tipo 1: Vista externa e interna.*



**Figura 5.**

*Unidad de observación Tipo 2: Vista externa e interna.*



## **Figura 6.**

*Unidad de observación Tipo 3: Vista interna.*



### ***Técnica de análisis***

El tiempo de reverberación se calculó de manera analítica utilizando la fórmula de Sabine, con el apoyo del programa Excel como herramienta para procesar los datos requeridos.

Una vez obtenidos los resultados, se realizó una comparación tanto con la normativa como entre las unidades de observación, mediante un análisis estadístico descriptivo. Este análisis permitió identificar los materiales con baja capacidad de absorción acústica, con el fin de proponer alternativas disponibles en el entorno que presente cambios en las propiedades de absorción.

Posteriormente, se realizaron unos nuevos cálculos del TR, incorporando los materiales investigados anteriormente. Estos cálculos, también basados en la fórmula de Sabine, permitieron evaluar la efectividad de la teoría en las intervenciones planteadas.

Finalmente, se elaborará recomendaciones que evidencien cómo el coeficiente de absorción de los materiales influye directamente en el tiempo de reverberación y, por ende, la calidad acústica del entorno.

### ***Indicadores***

Se comparon los resultados obtenidos con el rango del tiempo de reverberación idóneo que establecen normativas internacionales para las salas de lectura, en vista de que dentro de las normativas nacionales de la construcción no existen especificaciones acústicas. Por ende, se toman en cuenta las siguientes:

En la normativa internacional ISO 3382-2 se establece que para la tipología de salas de lectura es recomendado un tiempo de reverberación de 1.0 - 1.5 s, para espacios con una volumetría menor a 5000 m<sup>3</sup> (AENOR, 2008). Mientras que en las Normas Básicas de la Edificación NBE-CA-88 (Normativa española), se indica que para estas salas el tiempo de reverberación debe ser  $0,8 \leq T \leq 1,5$ .

## **Resultados**

### **Recolección y Procesamiento**

Siguiendo los objetivos de la investigación, el primer resultado fue el identificar las tipologías de salas de lectura, reflejado en la Tabla 2, donde se observó que los materiales de todas las salas son en general repetitivos, siendo la madera el material con mayor presencia. Por lo tanto, es un material de mayor relevancia para las observaciones posteriores.

**Tabla 2.***Clasificación de Salas de lectura según volumetría y materialidad.*

Tipologías de Salas de Lectura								
Tipo	Dimensiones (m)			Volumen ( $m^3$ )	Cantidad	Materiales	Superficie Total ( $m^2$ )	Coeficiente de absorción individual
	Largo	Ancho	Alto					
Sala Tipo 1	10.80	3.48	2.65	99.60	1	vidrio	69.84	2.79
						metal	6.72	0.69
						panel de madera	37.26	3.73
						plataforma de madera	37.55	9.76
Sala Tipo 2	2.40	2.27	2.82	15.36	2	vidrio	23.89	0.96
						metal	1.04	0.11
						panel de madera	5.97	0.60
						parquet de madera	5.45	1.42
						ladrillo visto	1.41	0.06
Sala Tipo 3	4.70	2.40	2.82	31.81	1	vidrio	34.15	1.37
						metal	2.98	0.31
						panel de madera	12.36	1.24
						parquet de madera	11.28	2.93
						ladrillo visto	2.91	0.12

Consecutivamente, y en concordancia con el segundo objetivo, se realizaron los cálculos de los tiempos de reverberación en los tres tipos de salas bajo las condiciones actuales (los cálculos completos se encuentran en Anexo 1. Cálculo del Tiempo de Reverberación inicial), es decir, sin ningún tipo de acondicionamiento acústico y en ausencia de usuarios. En la Tabla 3, se presentan los resultados de dicho cálculo, donde, en términos generales, se observa que los tiempos son bajos.

**Tabla 3.***Resultados del cálculo de los tiempos de reverberación por salas.*

Sala de Lectura	Volumen $V (m^3)$	Absorción	Superficie	Coeficiente medio	Tiempo de
		Total $A$	Total $St (m^2)$	de absorción $\bar{\alpha}$	Reverberación $TR (s)$
Tipo 1	99.60	23.28	152.55	0.15	0.69
Tipo 2	15.36	3.13	37.76	0.08	0.79
Tipo 3	31.81	5.96	63.69	0.09	0.86

Al comparar los resultados obtenidos con los requisitos establecidos en las normativas ISO 3382 y NBE-CA-88, reflejados en la Tabla 4 y Figura 7, se puede constatar que, todas las salas de lectura analizadas sí cumplen con los estándares.

El cumplimiento de dichas normativas se establece al pasar los datos por debajo del límite máximo de cada una, lo que implica que el ambiente acústico no es deficiente, por el contrario, ninguna de las salas puede considerarse altamente reverberante.

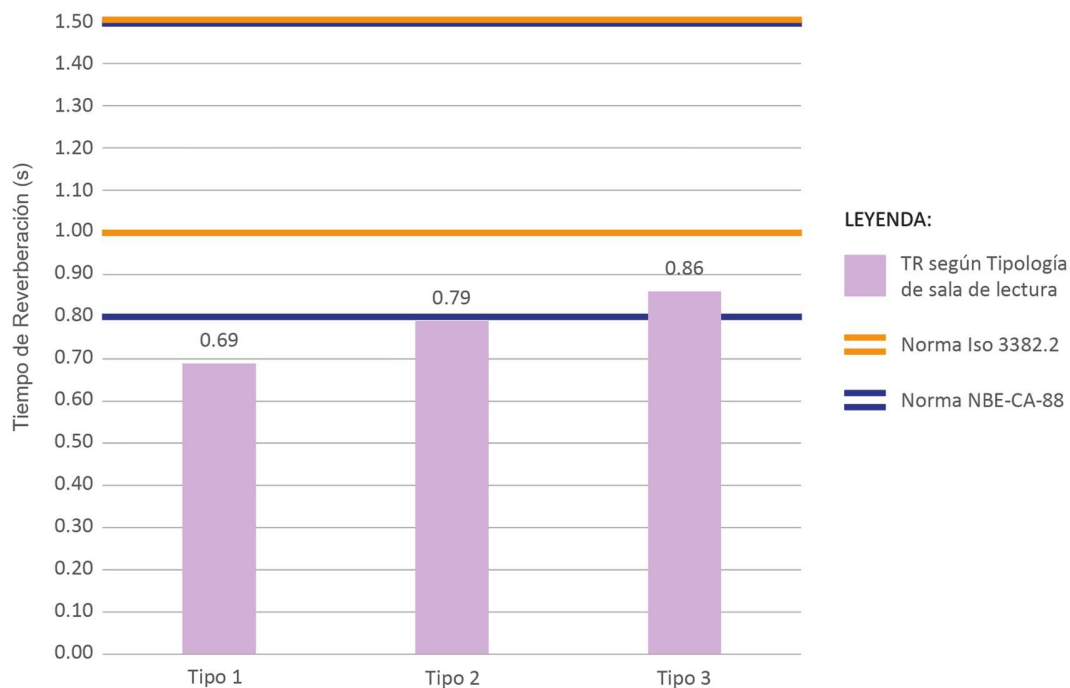
**Tabla 4.**

*Comparación de resultados de reverberación con las normativas.*

Sala de Lectura	Tiempo de Reverberación	Normativa: ISO 3382	Cumplimiento	Normativa: NBE-CA-88	Cumplimiento
Tipo 1	0.69		SÍ		SÍ
Tipo 2	0.79	$1.0 \leq T \leq 1.5$	SÍ	$0.8 \leq T \leq 1.5$	SÍ
Tipo 3	0.86		SÍ		SÍ

**Figura 7.**

*Comparación gráfica de los resultados con las normativas.*



## Tratamiento y Análisis

A partir de los resultados se infiere que no es necesaria una intervención de acondicionamiento acústico, es decir que no necesitan un mejoramiento en la reducción del TR, al pasar por debajo de los rangos que establecen las normativas. Por ende, se realizó dos ejercicios de replanteo de materiales para evaluar la influencia de los coeficientes de absorción de los recubrimientos en los espacios, siguiendo el objetivo 3 de la investigación.

En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda sobre los materiales empleados en los pisos y techos de diversos espacios dentro del campus universitario (Tabla 5). Se seleccionaron estos materiales en función de su uso común en el medio, como opciones para el primer ejercicio. Se hizo énfasis en estas superficies dado que en las unidades de observación se constató que era en estos lugares donde se hallaba el material con mayor capacidad de absorción.

**Tabla 5.**

*Materiales de piso y techo en la PUCE – sede Manabí (Portoviejo)*

Ubicación	Material	Descripción	Coefficiente de absorción ( $\alpha$ )
piso	cerámica	piso de cerámica	0.02
	hormigón	hormigón pulido	0.02
	porcelanato	porcelanato de piso	0.03
techo	yeso	placa 13mm con espacio de aire	0.06
	hormigón	hormigón pintado	0.02
	hormigón	hormigón normal	0.02

*Nota.* Adaptado de Deambrosi (2012).

De esta gama de materiales se seleccionaron los comúnmente utilizados en este tipo de espacios en bibliotecas (Tabla 6), con el objetivo de reemplazar el material con mayor capacidad de absorción en todas las salas de lectura, que es la madera, por materiales menos absorbentes, como los pisos de cerámica y los cielos rasos de yeso.

Los resultados se presentan en la Tabla 7 y Figura 8, donde se puede observar que estos superan en más del doble la reverberación inicial. Al compararlos con las normativas se distingue que, tanto la sala tipo 2 como la tipo 3 no cumplen con las especificaciones al sobrepasar el rango máximo, mientras que la sala tipo 1 si cumpliría con ambas normativas.

En todos los casos, se refuerza la idea inicial de que los nuevos materiales implementados no actúan como absorbentes, ya que, en lugar de reducir la reverberación, han provocado un aumento considerable de la misma.

Como último punto del ejercicio se realizó una comparación gráfica de las diferentes salas de lectura con estos materiales para visualizar como se apreciaría el cambio (Figura 9-11).

**Tabla 6.**

*Materiales escogidos para el primer ejercicio de comparación.*

Materiales actuales			Materiales para comparar	
Ubicación	Material	Coefficiente de absorción ( $a$ )	Material	Coefficiente de absorción ( $a$ )
piso	parquet de madera sobre contrapiso	0.04	cerámica	0.02
piso	plataforma de madera sobre espacio de aire	0.26		
techo	paneles de madera con cámara de aire	0.1	yeso	0.06

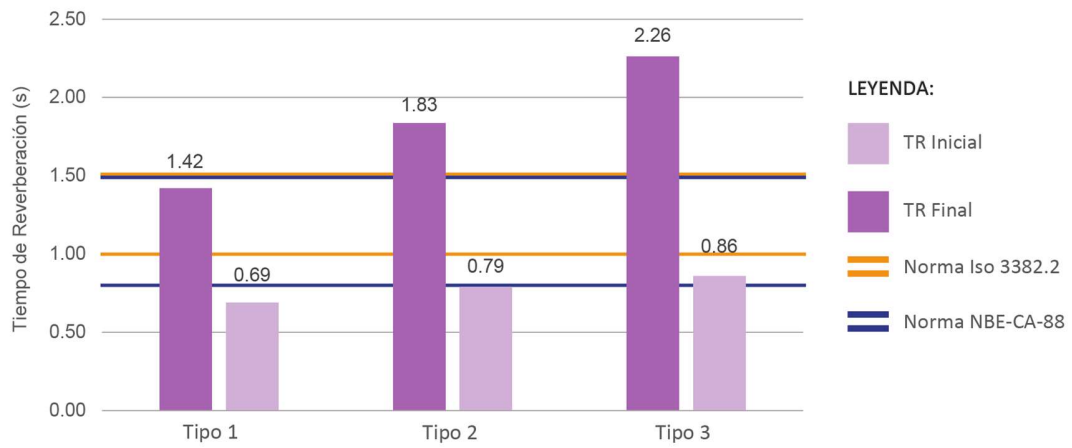
**Tabla 7.**

*TR con modificación de materiales: Piso de cerámica y tumbado de yeso.*

Sala de Lectura	Volumen $V (m^3)$	Absorción	Superficie	Coefficiente medio de absorción $\bar{a}$	TR	TR
		Total $A$	Total $St (m^2)$		Final $TR (s)$	Inicial $TR (s)$
Tipo 1	99.60	11.29	152.55	0.07	1.42	0.69
Tipo 2	15.36	1.35	37.76	0.04	1.83	0.79
Tipo 3	31.81	2.26	63.69	0.04	2.26	0.86

**Figura 8.**

*Comparación gráfica de resultados con Cerámica y Yeso vs cálculo inicial.*



**Figura 9.**

*Sala tipo 1 Actual vs. Ejercicio 1 de cambio de materiales.*



**Figura 10.**

*Sala tipo 2 Actual vs. Ejercicio 1 de cambio de materiales.*



**Figura 11.**

*Sala tipo 3 Actual vs. Ejercicio 1 de cambio de materiales.*



Para el segundo ejercicio, se buscaron diversas opciones de materiales acústicos para reducir el tiempo de reverberación en este tipo de edificaciones. Según varios autores, se pueden crear buenos ambientes acústicos en las bibliotecas mediante el empleo de alfombras para mitigar el ruido de los pasos, la incorporación de espumas acústicas decorativas en las paredes, así como la instalación de paneles de listones de madera, junto con deflectores en los techos que absorben los sonidos y disminuyen las reverberaciones (Salter, 2002).

Con esto se eligió el material que sería más fácil de remplazar en la práctica real, con el fin de verificar la teoría, más no por necesidad. Este material resultó ser la alfombra, dado que actúa como un recubrimiento del suelo actual, siendo uno de los materiales más mencionados como recurso principal para mejorar la acústica en bibliotecas. En la Tabla 8 se comprobó que su coeficiente de absorción es superior al de los pisos actuales de las salas de lectura. Por esta razón, se llevó a cabo un cálculo comparativo, sustituyendo el suelo de madera y parquet de las salas por alfombra acústica. Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 9 y Figura 12, donde se aprecia cómo los tiempos de reverberación se reducen en alrededor de un 7 % respecto de los valores iniciales.

**Tabla 8.**

*Material escogido para el segundo ejercicio de comparación.*

<b>Materiales actuales</b>			<b>Materiales para comparar</b>	
<b>Ubicación</b>	<b>Material</b>	<b>Coefficiente de absorción (<math>\alpha</math>)</b>	<b>Material</b>	<b>Coefficiente de absorción (<math>\alpha</math>)</b>
piso	parquet de madera sobre contrapiso	0.04	alfombra 13mm	0.31
piso	plataforma de madera sobre espacio de aire	0.26		

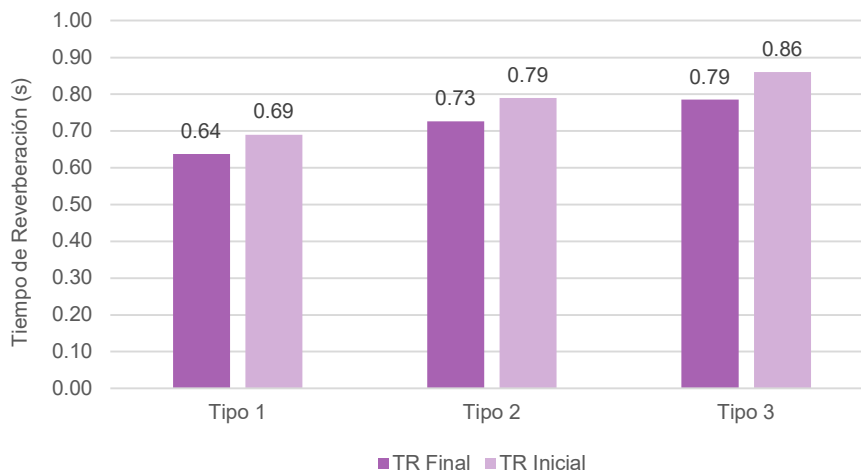
**Tabla 9.**

*TR con modificación de materiales: Piso con alfombras.*

Sala de Lectura	Volumen	Absorción Total	Superficie Total	Coefficiente medio de absorción	TR Final	TR Inicial
	$V (m^3)$	$A$	$St (m^2)$	$\bar{\alpha}$	$TR (s)$	$TR (s)$
Tipo 1	99.60	25.16	152.55	0.16	0.64	0.69
Tipo 2	15.36	3.41	37.76	0.09	0.73	0.79
Tipo 3	31.81	6.52	63.69	0.10	0.79	0.86

**Figura 12.**

*Comparación gráfica de resultados con Alfombra vs cálculo inicial.*



## Discusión

### Discusión de resultados

El objetivo de esta investigación fue examinar cómo el tipo de material, según sus coeficientes de absorción, influye en la acústica de los espacios de lectura analizados en la biblioteca, con el fin de identificar una posible deficiencia acústica relacionada con el tiempo de reverberación (TR), que afectaría a su vez a la inteligibilidad del habla y la calidad de aprendizaje. Sin embargo, los resultados mostraron que no hay un problema significativo, es decir que los materiales utilizados

en el diseño actual son adecuados. Al modificar el material con mayor capacidad de absorción en los recintos, sustituyendolo con materiales reverberantes, tanto en piso como en techos, se observó la influencia e importancia del material inicial en el diseño. Por lo tanto, la hipótesis central de la investigación es correcta, ya que se postulaba que la inclusión de materiales absorbentes influye en la alteración del TR, como se observa en el diseño actual.

De acuerdo con los primeros cálculos, se observa que la efectividad de absorción es similar en todas las salas, los TR van desde 0.69 – 0.86 segundos, debido a que en su mayoría comparten los mismos recubrimientos. No obstante, es importante destacar que la madera tiene un impacto significativo en los resultados, siendo el material con mayor absorción individual en todas las salas observadas (Tabla 2), aquellos coeficientes oscilan entre 0.60 - 9.76. Recordando que el nivel de reverberación está condicionado por el volumen del recinto y por los materiales que componen las superficies analizadas, se observa que el tiempo de reverberación disminuye a medida que las superficies presentan características más absorbentes.

Al analizar las salas de lectura se observó que la madera está presente tanto en el piso como en el techo. En la tipología 1 se observa el coeficiente de absorción mayor, con un valor de 9.76. Al tener la mayor superficie de recubrimiento, con un total de 74.81 m<sup>2</sup>, influye directamente en la disminución de reverberación. En contraste, en las salas tipo 2 y 3, el material predominante es el vidrio, con superficies de 23.89 m<sup>2</sup> y 34.15 m<sup>2</sup>, respectivamente. Este material es considerado reflectante por su bajo nivel de absorción ( $a=0.04$ ), lo que provoca niveles de reverberación superiores. A pesar de que el vidrio tiene una mayor superficie en estas dos salas, al comparar su capacidad de absorción con la de la madera, se observa que esta última es el material con mayor influencia en los resultados. Los coeficientes de absorción del vidrio son de 0.96 y 1.37, respectivamente, mientras que la madera tiene valores correspondientes de 1.42 y 2.93

Según el análisis con la normativa, se observó que los espacios de lectura cumplen con los rangos establecidos, ya que sus valores se encuentran por debajo de los límites superiores. En el caso de la norma ISO 3382, ninguna sala alcanza el límite mínimo de 1 segundo, mientras que en la norma NBE-CA-88, solo la sala tipo 3, con un valor de 0.86 s, supera el mínimo requerido de 0.8 segundos.

Al comparar estos hallazgos con los de otros autores, como Nafez et al. (2017), si bien su análisis se enfoca principalmente en la cantidad de ruido y no en el tiempo de reverberación, se destaca que en su estudio los espacios analizados no cumplían con la normativa seleccionada. Según sus hallazgos, aproximadamente el 41 % de los espacios destinados a la lectura en bibliotecas superaban los 45 dB recomendados por la OMS. Sin embargo, en esta investigación, gracias a los materiales utilizados y sus elevados coeficientes de absorción, los espacios no sobrepasaron los límites máximos establecidos por las normativas. Por lo tanto, las salas de lectura pueden considerarse como no reverberantes, al acercarse los valores obtenidos a los estándares, situándose por debajo del límite, indica que el ambiente acústico es altamente absorbente.

Al contrastar los resultados actuales entre sí, se observa que el TR de la sala tipo 2, con un valor de 0.79 segundos, es un 14.5 % superior al de la sala tipo 1 (0.69 s), mientras que la sala tipo 3 lo supera en un 24.6 %. Entre el tipo 2 y el tipo 3, la diferencia es más sutil, con un aumento del 8.9 % en favor de la última. Estas variaciones se deben a la influencia del volumen en los recintos, en donde la teoría de Sabine sostiene que el tiempo de reverberación debería ser mayor en espacios amplios y menor en espacios reducidos, siempre que el coeficiente de absorción de los materiales sea constante.

Sin embargo, los resultados indican que la sala tipo 1, la más grande, presenta el tiempo de reverberación más corto. Esto se atribuye a diversas razones, siendo la más relevante la

distribución de los materiales absorbentes. Esta sala tiene una mayor proporción de superficie absorbente con relación a su volumen, lo que contribuye a la reducción de la reverberación. Además, la presencia del pasillo que conecta con el área principal de la biblioteca juega un papel crucial.

Al estar enlazada con otro espacio, parte de la energía sonora se dispersa hacia las instalaciones adyacentes en lugar de reflejarse dentro de la sala, lo que genera un efecto de absorción adicional, contribuyendo a disminuir el TR. Según señala Isbert (1998), los materiales con absorción total tienen un valor de  $\alpha = 1$ , mientras que los que son totalmente reflectantes cuentan con un valor de  $\alpha = 0$ . En este contexto, se asignó un coeficiente de absorción de 1 al pasillo, simulando la realidad, lo que implica que toda la energía sonora que pasa por esa abertura se pierde completamente, reduciendo significativamente el TR en la sala tipo 1.

En comparación entre la sala tipo 2 y 3, la teoría principal si se cumple, ya que los 0.79 segundos de la sala tipo 2 no supera los 0.86 segundos de la sala tipo 3, considerando que ambas tienen los mismos materiales y, por ende, los mismos coeficientes de absorción. En estas dos tipologías, predominan materiales reflectantes en su interior. Uno de estos es el ladrillo visto, que, al ser de carácter liso, tiene un impacto acústico mínimo, reflejándose en su bajo coeficiente de absorción de 0.04, lo que contribuye al aumento del TR.

En la investigación de Reinten et al. (2017), se menciona que la reducción de la reverberación mediante el uso de materiales absorbentes mejora la claridad de la comunicación verbal, particularmente en espacios reducidos donde la distancia entre la fuente de sonido y el oyente es corta. Esto coincide con los resultados obtenidos, ya que se identificó que en las salas más pequeñas tienen mayor reverberación, y, por lo tanto, podrían tener problemas de inteligibilidad del habla si no contaran con los materiales absorbentes actualmente utilizados.

Pasando a los resultados del objetivo 3 de la investigación, en el primer ejercicio de cambio de material, al sustituir los recubrimientos de madera por materiales con menor capacidad de absorción, como la cerámica con  $a = 0.02$  y el yeso con  $a = 0.06$ , considerados como materiales reflectantes como mencionaba Isbert (1998), los tiempos de reverberación aumentaron más del 50%. Destaca especialmente la sala tipo 3, con un incremento del 162.79 %. En contraste, la sala tipo 1 presentó un aumento del 105.80 %, y la sala tipo 2 mostró un incremento del 131.65 %. Esto cambio hizo que las salas tipo 2 y 3 superaran los estándares establecidos por las normas, perjudicando así las condiciones acústicas de los espacios.

Este ejercicio resalta que los materiales originales de los espacios son adecuados. Al eliminar la madera y reemplazarla por materiales más tradicionales y económicamente accesibles, se evidencia un aumento en la reverberación.

En la comparativa visual de este ejercicio, el ambiente del espacio actual, con revestimientos de madera, se percibe cálido y acogedor para la lectura, lo que es una propiedad estética. Por otro lado, si se hubieran utilizado materiales más económicos, como cerámica y tumbado con paneles de yeso, la percepción del espacio cambiaría a un entorno más frío y neutral, menos invitante para los usuarios. Esta es una de las razones para seguir utilizando la madera en estos recintos, además disminuir el TR, es un material sostenible y estéticamente atractivo. Aunque su costo es más alto en comparación con los materiales tradicionales (principal razón por la que se está dejando de utilizar a pesar de su valor acústico), la madera se presenta como opción ideal para lograr un óptimo confort.

En cuanto a la propuesta del ejercicio 2, el reemplazo del material en el suelo por alfombra resultó en una clara reducción del TR inicial. El mayor cambio se observa en la sala tipo 3, con una reducción del 8.1 %. En la sala tipo 2, la reducción fue de aproximadamente 7.6 %, y en la

sala tipo 1, el cambio fue del 7.2 %. Aunque las diferencias son pequeñas, se destaca que la alfombra sí es un material que puede mejorar la acústica del espacio. Comparando estos resultados con investigaciones previas, como la de Dokmeci y Kang (2016), donde indican que los revestimientos de madera y los suelos alfombrados son ideales para la absorción de frecuencias medias y altas, se confirma esa teoría.

Esto sugiere que, si bien la modificación del material del suelo puede ayudar a reducir el tiempo de reverberación, en salas pequeñas o en aquellas con un diseño que favorece la reflexión, se necesitarían intervenciones adicionales, como la instalación de paneles absorbentes en paredes o techos, para abordar adecuadamente las situaciones donde la reverberación sea un problema notable.

### **Conclusiones**

A través del análisis del espacio, se logró comprender el comportamiento del sonido en relación con los materiales actuales y su comparación con las propuestas de cambio del material, se concluyó que, a mayor área cubierta por material absorbente, mayor es el coeficiente de absorción individual, lo que resulta en un menor tiempo de reverberación en el espacio.

Los resultados obtenidos reflejan la importancia de considerar la calidad acústica en los espacios destinados a la lectura, estudio y aprendizaje desde las etapas de diseño y construcción. Esto no solo favorece el confort de los estudiantes universitarios, sino que también asegura el cumplimiento de las normativas internacionales. Además, los hallazgos son coherentes con los materiales utilizados en el diseño actual, los cuales aseguran un estado de reverberación casi nulo.

En el cálculo del estado actual del tiempo de reverberación, se puede observar que ninguna de las salas alcanza 1 segundo de reverberación. Dado que el oído humano generalmente no percibe la velocidad del sonido más allá de esta unidad básica de tiempo de retorno, a menos que se utilicen

herramientas especializadas, como sonómetros o aplicaciones, se concluye que los resultados son notablemente bajos.

A partir de estos resultados, se observa que los tres tipos de salas de lectura analizadas cumplen con los requisitos de las normas ISO 3382.2 y la NBE-CA-88, ya que se sitúan por debajo del límite máximo establecido. Asimismo, los resultados obtenidos tras la selección de material acústico, respaldan las teorías sobre el acondicionamiento acústico utilizando materiales de absorción, como la alfombra.

Para abordar cualquier problemática acústica del espacio interior en una situación real, será fundamental identificar qué superficie ofrece la menor capacidad de absorción. Este análisis permitirá determinar si el tiempo de reverberación es adecuado para la función específica de ese espacio y si es necesario implementar alguna propuesta para optimizar la acústica en el área de estudio.

Finalmente, con respecto a los objetivos específicos enunciados en esta investigación se cumplieron casi en su totalidad como se esperaba:

- Se identificaron y clasificaron tres tipologías de espacios de lectura según el volumen y materialidad.
- Se desarrolló y analizó el cálculo del tiempo de reverberación para comprender la calidad de las condiciones acústicas actuales de los espacios seleccionados, comparándolos con normativas acústicas internacionales como indicadores.
- Y se llevaron a cabo ejercicios teóricos de cambios de materiales para comparar el rendimiento acústico. El primer ejercicio consistió en un hipotético caso de uso de materiales más tradicionales en el campus de la PUCE – Sede Manabí, lo que resultó en mayor reverberación. El segundo ejercicio consistió en la incorporación de

alfombras al suelo. Aunque, según los resultados obtenidos, no era estrictamente necesario un mejoramiento de los materiales, se llevó a cabo esta modificación con el fin de validar la reducción del tiempo de reverberación al utilizar este tipo de material.

### **Recomendaciones**

Como primer punto, se identificaron limitaciones en la metodología utilizada, ya que los resultados obtenidos son meramente teóricos y no reflejan al 100 % la realidad. Esto se debe a que no se contempla la presencia de mobiliario ni de usuarios en el espacio analizado. Además, la teoría seleccionada resulta ser demasiado genérica, ya que se calculó el TR considerando los espacios como modelos homogéneos, asumiendo que el sonido se dispersa de manera uniforme en los recintos, cuando en realidad el sonido puede provenir de diversas direcciones, lo que variaría el tiempo de reverberación. Asimismo, no se considera la incidencia del sonido externo.

Si bien es cierto que esta fórmula es importante para un prediseño ágil antes de la construcción, ya que ayuda a seleccionar los materiales adecuados según el tipo de espacio, no se debe descartar que, para un análisis más profundo, se deberían utilizar fórmulas más avanzadas que contemplen factores como la absorción del aire, la ubicación del receptor y, que el campo sonoro no sea difuso, entre otros aspectos que influyen en el tiempo de reverberación real.

Por lo tanto, para futuras investigaciones, se recomienda llevar a cabo un estudio que contemple mediciones en condiciones reales, considerando la ocupación de los estudiantes en las salas, con el fin de verificar el comportamiento del sonido real en presencia del usuario promedio y del mobiliario que ocupa los espacios.

Así mismo, se sugiere el uso de herramientas técnicas especializadas en el análisis acústico, como los sonómetros, en lugar de depender únicamente del cálculo analítico. Dichas herramientas proporcionan resultados más precisos y pertinentes en contextos reales.

Otra investigación adicional a la actual podría explorar cómo el tiempo de reverberación influye en la concentración de los estudiantes universitarios, llevando a cabo un test de concentración en entornos con ruido de fondo, así como en salas de lectura sin acondicionamiento acústico, y comparar estos resultados con aquellos obtenidos en espacios que cuenten con un adecuado tratamiento acústico.

De manera similar, se podrían realizar investigaciones enfocándose en el efecto de la volumetría en la acústica espacial, en donde se comparen distintos espacios con formas diferentes como espacios de doble altura o con paredes curvas.

Por último, se debería tomar este tipo de investigaciones como punto de partida para generar regulaciones para el estado acústico de los recintos en las normativas de la construcción del país. Esto es importante para que en investigaciones futuras se puedan basar en regulaciones locales que tomen en cuenta el contexto en donde vivimos, ya que en Ecuador no existen reglas específicas en esta área. Es esencial que estas consideraciones se incluyan en el proceso de construcción de cualquier lugar en el que el sonido tenga un gran impacto en los usuarios, tanto en el aprendizaje como en la salud de las personas.

## Referencias Bibliográficas

AENOR (Ed.). (2008). Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos.

Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios. Madrid, España:

AENOR. Obtenido de

[https://sga.iavq.edu.ec/media/documentos/2018/11/26/UNE\\_EN\\_ISO\\_338\\_2\\_2-008\\_T60.pdf](https://sga.iavq.edu.ec/media/documentos/2018/11/26/UNE_EN_ISO_338_2_2-008_T60.pdf)

Akanmu, W. P., Nunayon, S. S., & Eboson, E. U. (2021). Indoor environmental quality (IEQ) assessment of Nigerian university libraries: A pilot study. *Energy and Built Environment*, 2(3), 302-314. Obtenido de <https://www.keaipublishing.com/en/journals/energy-and-built-environment/>

Arau-Puchades, H. (2010). *REVISION DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN: EL METODO DE CÁLCULO, LA PRECISIÓN PREDICTIVA Y LA LEY*. Obtenido de Arau Acustica: [https://www.arauacustica.com/files/publicaciones/pdf\\_esp\\_27.pdf](https://www.arauacustica.com/files/publicaciones/pdf_esp_27.pdf)

Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1-17. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993715000068?via%3Dihub>

Basso, G. J. (Mayo de 2017). *INCREMENTO DE LA CALIDAD SONORA EN SALAS PARA MÚSICA A PARTIR DE LA CONFIGURACIÓN DEL CAMPO ACÚSTICO TEMPRANO*. La Plata, Argentina. Obtenido de [https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/62712/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/62712/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Boschi, C. E. (Octubre de 2008). MÉTODO PARA MEDIR EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN RECINTOS. *Proyecto Leonardo*, 3(1), 1-10. Obtenido de

[http://www1.frm.utn.edu.ar/laboratoriodeacustica/Metodo\\_experimental\\_para\\_medir\\_el\\_TR60.pdf](http://www1.frm.utn.edu.ar/laboratoriodeacustica/Metodo_experimental_para_medir_el_TR60.pdf)

Brothánek, M., Jandák, V., & Jiříček, O. (15 de diciembre de 2020). Expectations of the acoustic environment in the national library of technology – Case study. *Applied Acoustics*, 170.

Obtenido de

<https://sciencedirect.puce.elogim.com/science/article/pii/S0003682X20306113>

Calle, F. (2019). Plano arquitectónico de la Biblioteca. Portoviejo, Manabí, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí - Campus Portoviejo.

Castro-Martínez, J. A., Chavarría Roa, J., Parra Benítez, A., & González, S. (diciembre de 2016). Effects of classroom-acoustic change on the attention level of university students.

*Interdisciplinaria*, 33(2), 201-214. Obtenido de

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0->

85019199538&origin=inward&txGid=96fa1bb0b267095006b350d13b369625

Deambrosi, M. (3 de febrero de 2012). *Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo*. Obtenido de [www.fadu.edu.uy](http://www.fadu.edu.uy): <https://www.fadu.edu.uy/condicionamiento-acustico/teoricos-y-tablas/>

Dokmeci Yorukoglu, P. N., & Kang, J. (2016). Analysing Sound Environment and Architectural Characteristics of Libraries through Indoor Soundscape Framework. *Polska Akademia Nauk (PAN)*, 41(2), 203-2012. doi:10.1515/aoa-2016-0020

Isbert, A. C. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona, España: Edicions UPC.

Marín, D. (2016). *Estudio comparativo de cálculos de Tiempo de Reverberación de salas mediante simulación basada en trazado de rayos*. Cataluña: UPC.

- Mena, A. (Julio de 2015). Determinación de las características acústicas de materiales de construcción de Ecuador - Ladrillo artesanal e industrial. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [https://oa.upm.es/38137/1/TESIS\\_MASTER\\_ANDREA\\_MENA\\_MORENO.pdf](https://oa.upm.es/38137/1/TESIS_MASTER_ANDREA_MENA_MORENO.pdf)
- Miyara, F. (2004). *Acústica y Sistemas de Sonido* (3ra ed.). (U. EDITORA, Ed.) Rosario, Argentina: Red de Editoriales de Universidades Nacionales (REUN). Obtenido de <https://www.analfatecnicos.net/archivos/27.AcusticaArquitectonica.pdf>
- Montejano, R. (2006). *Materiales acústicos*. Obtenido de <https://www.analfatecnicos.net/archivos/28.MaterialesAcusticos.pdf>
- Nafez, A., Lofti, S., Rostami, R., & Saeedi, R. (2017). Assesment of the noise levels in libraries and dormitories of Kermanshah University of Medical Sciences in 2016. *Fresenius Environmental Bulletin.*, 6, 4890-4893. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/318860326\\_Assessment\\_the\\_noise\\_level\\_in\\_libraries\\_and\\_dormitories\\_of\\_kermanshah\\_university\\_of\\_medical\\_sciences\\_in\\_2016\\_kermanshah\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/318860326_Assessment_the_noise_level_in_libraries_and_dormitories_of_kermanshah_university_of_medical_sciences_in_2016_kermanshah_Iran)
- Narvárez Reyes, N., Villavicencio Berrú, A., & Contreras Lojano, C. (Junio de 2022). DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE PANELES ACÚSTICOS PARA ESPACIOS INTERIORES CULTURALES. *DAYA*, 13, 103 - 146.
- Pierard, C., & Baca, O. (2019). Finding the sonic sweet spot: implementing a noise management program in library learning commons. *Journal of Access Services*, 16(4), 125-150. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/335083927\\_Finding\\_the\\_sonic\\_sweet\\_spot\\_Implementing\\_a\\_noise\\_management\\_program\\_in\\_a\\_library\\_learning\\_commons](https://www.researchgate.net/publication/335083927_Finding_the_sonic_sweet_spot_Implementing_a_noise_management_program_in_a_library_learning_commons)

Reinten, J., Braat-Eggen, P., Hornikx, M., S.M. Kort, H., & Kohlrausch, A. (8 de julio de 2017).

The indoor sound environment and human task performance: A literature review on the role of room acoustics. *Building and Environment*, 123, 315-332. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/buildenv](http://www.elsevier.com/locate/buildenv)

Salter, C. (2002). *Acoustics for libraries*. Obtenido de Scribd:

<https://es.scribd.com/document/49491099/AcousticsLibraries>

Smardzewski, J., Batko, W., Kamisiński, T., Flach, A., Pilch, A., Dziurka, D. M., & Majewski,

A. (2014). Experimental study of wood acoustic absorption characteristics.

*Holzforschung* 2014, 68(4), 467-476. doi: 10.1515/hf-2013-0160

Woo, J., & Rajagopalan, P. (2017). Soundscapes in Public Libraries. (M. A. Schnabel, Ed.) *Back*

*to the Future: The Next 50 Years, (51st International Conference of the Architectural Science)*, 685-694. Obtenido de [www.anzasca.net](http://www.anzasca.net)

Xiao, J., & Aletta, F. (29 de agosto de 2016). A soundscape approach to exploring design

strategies for acoustic comfort in modern public libraries: a case study of the Library of

Birmingham. *Noise Mapping*, 3(1), 264–273. Obtenido de

<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/noise-2016-0018/html>

## Anexos

### Anexo 1. Cálculo del Tiempo de Reverberación inicial

#### *Cálculos de sala Tipo 1:*

**Tabla 10.**

*Cálculo de superficie total de la sala de lectura tipo 1.*

<b>Cálculo de superficies: Sala de Lectura Tipo 1</b>						
Superficie Sala de Lectura	Área (m2)	Material	Medidas (m)		Cantidad	Superficie (m <sup>2</sup> )
			Largo	Ancho		
Pared 1	9.22	Vidrio	2.47	3.25	1	8.03
		Metal (columna)	2.47	0.12	2	0.59
		Metal (viga)	3.48	0.18	1	0.63
		Vidrio 1	2.47	3.60	2	17.78
Pared 2	28.62	Vidrio 2	2.47	1.22	1	3.01
		Metal (columna)	2.47	0.10	2	0.49
		Metal (viga)	10.80	0.18	1	1.94
		Ventana abierta	2.38	2.65	1	6.31
Pared 3	9.22	Vidrio	2.47	3.25	1	8.03
		Metal (columna)	2.47	0.12	2	0.59
		Metal (viga)	3.48	0.18	1	0.63
Pared 4	28.62	Vidrio	2.47	3.60	3	26.68
		Metal (columna)	2.47	0.10	2	0.49
		Metal (viga)	3.40	0.18	3	1.84
Techo	37.58	Metal (viga)	3.48	0.10	2	0.70
		Madera	3.60	3.45	3	37.26
Piso	37.58	Madera	10.79	3.48	1	37.55
<b>Superficie Total (St) del recinto</b>						<b>152.55</b>

**Tabla 11.***Cálculo de TR inicial de la sala de lectura tipo 1.*

TR Sala de lectura Tipo 1								
Materiales	Superficie	Coefficiente de absorción	Absorción individual	Absorción Total	Superficie total	Coefficiente de absorción media	Volumen	Tiempo de Reverberación
	$S (m^2)$	$a$	$S \times a$	$A = \Sigma(S \times a)$	$St (m^2)$	$\bar{a} = A/St$	$m^3$	$TR = 0.161(V/\bar{a} \times St)$
Ventana de vidrio 6mm	69.84	0.04	2.79					
Metal	6.72	0.10	0.69					
Ventana abierta	6.31	1.00	6.31					
Paneles de madera (16 + 40mm de aire)	37.26	0.10	3.73	23.28	152.55	0.15	99.60	0.69
Piso de madera con gran espacio de aire	37.55	0.26	9.76					

*Cálculos de sala Tipo 2:***Tabla 12.***Cálculo de superficie total de la sala de lectura tipo 2.*

Cálculo de superficies: Sala de Lectura Tipo 2						
Superficie Sala de Lectura	Área (m2)	Material	Medidas (m)		Cantidad	Superficie (m <sup>2</sup> )
			Largo	Ancho		
Pared 1	7.63	Vidrio	3.36	2.27	1	7.63
Pared 2	6.77	Vidrio	2.82	2.40	1	6.77
Pared 3	6.77	Vidrio	2.82	2.40	1	6.77
Pared 4	5.18	Vidrio	2.27	1.20	1	2.72
		Metal (viga)	2.27	0.46	1	1.04
		Ladrillo visto	2.27	0.62	1	1.41
Techo	5.97	Madera	2.63	2.27	1	5.97
Piso	5.45	Madera	2.40	2.27	1	5.45
<b>Superficie Total (S<sub>t</sub>) del recinto</b>						<b>37.76</b>

**Tabla 13.***Cálculo de TR inicial de la sala de lectura tipo 2.*

TR Sala de lectura Tipo 2								
Materiales	Superficie	Coefficiente de absorción	Absorción individual	Absorción Total	Superficie total	Coefficiente de absorción media	Volumen	Tiempo de Reverberación
	$S (m^2)$	$a$	$S \times a$	$A = \Sigma(S \times a)$	$St (m^2)$	$\bar{a} = A/St$	$m^3$	$TR = 0.161(V/\bar{a} \times St)$
Ventana de vidrio 6mm	23.89	0.04	0.96					
Metal	1.04	0.10	0.11					
Paneles de madera (16 + 40mm de aire)	5.97	0.10	0.60	3.13	37.76	0.08	15.36	0.79
Parquet de madera sobre contrapiso	5.45	0.26	1.42					
Ladrillo visto	1.41	0.04	0.06					

**Cálculos de sala Tipo 3:****Tabla 14.***Cálculo de superficie total de la sala de lectura tipo 3.*

Cálculo de superficies: Sala de Lectura Tipo 3						
Superficie Sala de Lectura	Área (m2)	Material	Medidas (m)		Cantidad	Superficie (m <sup>2</sup> )
			Largo	Ancho		
Pared 1	15.79	Vidrio	4.70	3.36	1	15.79
Pared 2	6.77	Vidrio	2.82	2.40	1	6.77
Pared 3	6.77	Vidrio	2.48	2.40	1	5.95
		Metal (viga)	2.41	0.34	1	0.82
Pared 4	10.72	Vidrio	4.70	1.20	1	5.64
		Metal (viga)	4.70	0.46	1	2.16
		Ladrillo visto	4.70	0.62	1	2.91
Techo	12.36	Madera	4.70	2.63	1	12.36
Piso	11.28	Madera	4.70	2.40	1	11.28
<b>Superficie Total (Si) del recinto</b>						<b>63.69</b>

**Tabla 15.***Cálculo de TR inicial de la sala de lectura tipo 3.*

TR Sala de lectura Tipo 3								
Materiales	Superficie	Coefficiente de absorción	Absorción individual	Absorción Total	Superficie total	Coefficiente de absorción media	Volumen	Tiempo de Reverberación
	$S (m^2)$	$a$	$S \times a$	$A = \Sigma(S \times a)$	$St (m^2)$	$\bar{a} = A/St$	$m^3$	$TR = 0.161(V/\bar{a} \times St)$
Ventana de vidrio 6mm	34.15	0.04	1.37					
Metal	2.98	0.10	0.31					
Paneles de madera (16 + 40mm de aire)	12.36	0.10	1.24	5.96	63.69	0.09	31.81	0.86
Parquet de madera sobre contrapiso	11.28	0.26	2.93					
Ladrillo visto	2.91	0.04	0.12					

**Anexo 2. Cálculos de TR con cambio de materiales: Ejercicio 1****Tabla 16.***Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 1) - sala tipo 1.*

TR Sala de lectura Tipo 1								
Materiales	Superficie	Coefficiente de absorción	Absorción individual	Absorción Total	Superficie total	Coefficiente de absorción media	Volumen	Tiempo de Reverberación
	$S (m^2)$	$a$	$S \times a$	$A = \Sigma(S \times a)$	$St (m^2)$	$\bar{a} = A/St$	$m^3$	$TR = 0.161(V/\bar{a} \times St)$
Ventana de Vidrio 6mm	69.84	0.04	2.79					
Metal	6.72	0.10	0.69					
Ventana abierta	6.31	1.00	6.31					
Placa de yeso 25mm con espacio de aire				11.29	152.55	0.07	99.60	1.42
Piso de cerámica	37.26	0.02	0.75					
	37.55	0.02	0.75					

**Tabla 17.***Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 1) - sala tipo 2.*

TR Sala de lectura Tipo 2								
Materiales	Superficie	Coefficiente de absorción	Absorción individual	Absorción Total	Superficie total	Coefficiente de absorción media	Volumen	Tiempo de Reverberación
	$S (m^2)$	$a$	$S \times a$	$A = \Sigma(S \times a)$	$St (m^2)$	$\bar{a} = A/St$	$m^3$	$TR = 0.161(V/\bar{a} \times St)$
Ventana de Vidrio 6mm	23.89	0.04	0.96					
Metal	1.04	0.10	0.11					
Placa de yeso 25mm con espacio de aire	5.97	0.02	0.12	1.35	37.76	0.04	15.36	1.83
Piso de cerámica	5.45	0.02	0.11					
Ladrillo visto	1.41	0.04	0.06					

**Tabla 18.***Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 1) - sala tipo 3.*

TR Sala de lectura Tipo 3								
Materiales	Superficie	Coefficiente de absorción	Absorción individual	Absorción Total	Superficie total	Coefficiente de absorción media	Volumen	Tiempo de Reverberación
	$S (m^2)$	$a$	$S \times a$	$A = \Sigma(S \times a)$	$St (m^2)$	$\bar{a} = A/St$	$m^3$	$TR = 0.161(V/\bar{a} \times St)$
Ventana de Vidrio 6mm	34.15	0.04	1.37					
Metal	2.98	0.10	0.31					
Placa de yeso 25mm con espacio de aire	12.36	0.02	0.25	2.26	63.69	0.04	31.81	2.26
Piso de cerámica	11.28	0.02	0.23					
Ladrillo visto	2.91	0.04	0.12					

### Anexo 3. Cálculos de TR con cambio de materiales: Ejercicio 2

**Tabla 19.**

*Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 2) - sala tipo 1.*

TR Sala de lectura Tipo 1								
Materiales	Superficie	Coefficiente de absorción	Absorción individual	Absorción Total	Superficie total	Coefficiente de absorción media	Volumen	Tiempo de Reverberación
	$S (m^2)$	$a$	$S \times a$	$A = \Sigma(S \times a)$	$St (m^2)$	$\bar{a} = A/St$	$m^3$	$TR = 0.161(V/\bar{a} \times St)$
Ventana de Vidrio 6mm	69.84	0.04	2.79					
Metal	6.72	0.10	0.69					
Ventana abierta	6.31	1.00	6.31					
Paneles de madera (16 + 40mm de aire)	37.26	0.10	3.73	25.16	152.55	0.16	99.60	0.64
Alfombra de 13 mm	37.55	0.31	11.64					

**Tabla 20.**

*Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 2) - sala tipo 2.*

TR Sala de lectura Tipo 2								
Materiales	Superficie	Coefficiente de absorción	Absorción individual	Absorción Total	Superficie total	Coefficiente de absorción media	Volumen	Tiempo de Reverberación
	$S (m^2)$	$a$	$S \times a$	$A = \Sigma(S \times a)$	$St (m^2)$	$\bar{a} = A/St$	$m^3$	$TR = 0.161(V/\bar{a} \times St)$
Ventana de Vidrio 6mm	23.89	0.04	0.96					
Metal	1.04	0.10	0.11					
Paneles de madera (16 + 40mm de aire)	5.97	0.10	0.60	3.41	37.76	0.09	15.36	0.73
Alfombra de 13 mm	5.45	0.31	1.69					
Ladrillo visto	1.41	0.04	0.06					

**Tabla 21.***Cálculo de TR con cambio de materiales (ejercicio 2) - sala tipo 3.*

TR Sala de lectura Tipo 3								
Materiales	Superficie	Coefficiente de absorción	Absorción individual	Absorción Total	Superficie total	Coefficiente de absorción media	Volumen	Tiempo de Reverberación
	$S (m^2)$	$a$	$S \times a$	$A = \Sigma(S \times a)$	$St (m^2)$	$\bar{a} = A/St$	$m^3$	$TR = 0.161(V/\bar{a} \times St)$
Ventana de Vidrio 6mm	34.15	0.04	1.37					
Metal	2.98	0.10	0.31					
Paneles de madera (16 + 40mm de aire)	12.36	0.10	1.24	6.52	63.69	0.10	31.81	0.79
Alfombra de 13 mm	11.28	0.31	3.50					
Ladrillo visto	2.91	0.04	0.12					